

STUDI EKSPERIMEN PENGARUH MATERIAL DAN DIMENSI PIPA PENGHUBUNG REAKTOR DAN KONDENSOR PADA PROSES PIROLISIS TERHADAP KUANTITAS HASIL *LIQUID SMOKE*

^[1]Bangun Sang Karsa, ^[1]Herman Saputro, ^[1]Danar Susilo Wijayanto

^[1]Pendidikan Teknik Mesin, FKIP, UNS, Surakarta, Indonesia

email : sangkarsa10@gmail.com

Abstrak

Energi merupakan bagian kebutuhan manusia yang tidak dapat dipisahkan. Pemanfaatan energi dari pengolahan limbah dengan proses pirolisis adalah langkah untuk mengurangi polusi tanah dan energi yang mulai langka. Eksperimen yang dilakukan menggunakan variabel kontrol yaitu proses pirolisis cepat, suhu pemanasan 400°C, lama pengujian 60 *menit*, jenis biomassa limbah padat aren, dan berat biomassa 200 *gram*. Hasil pengambilan data dari banyaknya volume asap cair setiap pipa dibandingkan dengan efisiensi alat pirolisis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pipa *stainless steel* dan Galvanis diameter 3/4 *inch* 0,5 *meter* memiliki nilai kuantitas 88 *ml* dan 87 *ml*. Pada penelitian ini menunjukkan diameter pipa mempengaruhi hasil dari kuantitas asap cair. Perbandingan dengan diameter 1/4 *inch* lebih sedikit dibandingkan 3/4 *inch* dengan hasil 66 *ml* dan 88 *ml*. Panjang pipa mempengaruhi hasil asap cair dengan perbandingan panjang 1 *meter* dan 0,5 *meter*, panjang 1 *meter* memiliki kuantitas 84 *ml* dan 88 *ml*. Variasi jenis material pipa *stainless steel* dibandingkan dengan material galvanis memiliki kuantitas 88 *ml* dan 86 *ml*. Dari semua data yang diperoleh, menunjukkan bahwa pipa *stainless steel* diameter 3/4 *inch* x 0,5 *meter* memiliki hasil terbaik dengan proses pirolisis cepat.

Kata Kunci : Biomassa, Kuantitas Asap Cair, Limbah Padat Aren, Pipa Galvanis, Pipa Stainless Steel, Pirolisis.

Abstract

Energy is a part of human needs that cannot be separated. The use of energy from waste treatment with the pyrolysis process is a step to reduce soil pollution and energy that is beginning to scarce. Experiments were carried out using control variables namely fast pyrolysis process, 400°C heating temperature, 60 *minutes* testing time, biomass type of palm sugar solid waste, and 200 *gram* biomass weight. The results of data collection from the volume of liquid smoke of each pipe compared to the efficiency of the pyrolysis tool. The results showed that stainless steel pipes and Galvanized diameter 3/4 *inch* 0.5 *meters* had a quantity of 88 *ml* and 87 *ml*. This research shows the diameter of the pipe affects the results of the quantity of liquid smoke. Comparison with 1/4 *inch* diameter less than 3/4 *inch* with the results of 66 *ml* and 88 *ml*. The length of the pipe affects the results of liquid smoke with a ratio of length of 1 *meter* and 0.5 *meter*, length of 1 *meter* has a quantity of 84 *ml* and 88 *ml*. Variations in the types of stainless steel pipe materials compared to galvanized material have a quantity of 88 *ml* and 86 *ml*. Of all the data obtained, it shows that stainless steel pipes with a diameter of 3/4 *inch* x 0.5 *meters* have the best results with a fast pyrolysis process.

Keywords: Biomass, Liquid Smoke Quantity, Aren Solid Waste, Galvanized Pipe, Stainless Steel Pipe, Pyrolysis.

Pendahuluan

Pada saat ini dunia sedang mengalami krisis energi. Ketersediaan sumber energi untuk

mencukupi berbagai kebutuhan, baik skala kecil dan besar, sangat terbatas. Hal ini dikarenakan masih diandalkannya sumber energi dari fosil, yaitu minyak bumi. Sifat minyak bumi yang

tidak dapat diperbaharui membuat keadaan semakin sulit. Untuk itu diperlukan suatu pemikiran kreatif dengan menciptakan energi alternatif yang bersifat *renewable*, ramah lingkungan dan memiliki ketersediaan yang melimpah. Disisi lain, Indonesia memiliki ketersediaan bahan organik (*biomass*) berupa sisa pertanian dan perkebunan yang melimpah. Beberapa contohnya adalah potongan kayu, sekam padi, ampas tebu, cangkang dan tandan kosong sawit, serbuk kayu, serta sabut dan limbah aren. Selain itu, sampah organik dari pemukiman merupakan potensi besar lainnya yang juga amat melimpah. Pengolahan limbah yang kurang efisien menyebabkan polusi tanah, air, dan udara di Indonesia belum teratasi (Cahyono, 2013).

Pirolisis merupakan salah satu teknologi alternatif yang dapat digunakan untuk mengkonversi biomassa menjadi bahan tambahan pangan dan *bio-oil*. Pirolisis adalah suatu proses dengan penggunaan oksigen yang minimal. Proses konversi biomassa menjadi bahan tambahan makanan melalui proses pirolisis akan semakin memberikan keuntungan jika dikorelasi dengan kondisi penggunaan bahan tambahan makanan sintetik yang banyak beredar dipasaran dan dikonsumsi oleh masyarakat. Pemanfaatan zat kimia hasil pirolisis sebagai *bio-oil* juga memberikan keuntungan untuk sumber energi yang dapat diperbarui dengan semakin menurunnya jumlah bahan bakar fosil (Tan, Abdullah, & Hameed, 2017).

Pirolisis berasal dari dua kata yaitu *pyro* yang berarti panas dan *lysis* berarti penguraian atau degradasi, sehingga pirolisis berarti penguraian biomassa karena panas pada suhu lebih dari 150°C (Hugo, 2010). Pirolisis adalah proses pemanasan suatu zat tanpa adanya oksigen sehingga terjadi penguraian komponen – komponen penyusun limbah padat aren. Istilah lain dari pirolisis adalah penguraian yang tidak teratur dari bahan – bahan organik yang disebabkan oleh adanya pemanasan tanpa berhubungan dengan udara luar. Jadi apabila limbah padat aren tanpa berhubungan dengan udara dan diberi suhu yang cukup tinggi, maka akan terjadi reaksi penguraian senyawa – senyawa kompleks yang menyusun limbah padat aren dan menghasilkan zat dalam tiga bentuk yaitu padatan, cair, dan gas (Hugo, 2010)

Tabel 1. Macam - Macam Pirolisis

Proses	Kondisi	Char(wt%)	Liquid(wt%)	Gas (wt%)
Pirolisis cepat	500°C , <i>HHV</i> , waktu tinggal uap <2 detik	10 s/d 20	60 s/d 75	10 s/d 20
Pirolisis vakum	450°C , <i>LHV</i> , waktu tinggal uap beberapa menit	20 s/d 30	35 s/d 45	25 s/d 35
Pirolisis lambat	500°C , <i>LHV</i> , waktu tinggal uap 5-10 menit	25 s/d 35	30 s/d 45	25 s/d 35
Torrefaction	300°C , <i>LHV</i> , waktu tinggal uap sangat lama	70	0	30
Gasifikasi	$>800^{\circ}\text{C}$, <i>HHV</i> , waktu tinggal uap sangat lama	10	5	85

Limbah padat yang berupa serbuk serat aren semula dimanfaatkan oleh industri budidaya jamur di kota Yogyakarta. Namun pada dua tahun terakhir, industri tersebut tidak beroperasi lagi, akibatnya timbunan limbah padat memenuhi bantaran sungai dan daerah sekitar sawah. Lindi dari limbah padat ini mulai terasa mencemari badan air dan sistem irigasi yang ada di daerah tersebut. Dampak yang dirasakan penduduk berupa timbulnya gangguan kulit setelah menggunakan sumber air yang sudah tercemar oleh lindi ampas aren dan juga matinya ikan-ikan pada kolam ikan milik penduduk, selain bau yang menyengat, khususnya setelah ampas terbasahi oleh hujan.



Gambar 1. Limbah Padat Aren

memiliki beberapa kandungan zat didalamnya. Parameter zat seperti total fosfat, kalium dan fosfor tidak terpengaruh terhadap proses industri tepung aren ini. Oleh karena itulah kandungan Fosfor (P) dan Kalium (K) limbah padat dalam bentuk ampas masih tinggi. Tingginya kandungan besi (Fe) dan mangan (Mn) pada pati aren yang masih basah diperkirakan berasal dari air sumur yang digunakan selama proses (Firdayati & Handajani, n.d.). Limbah padat aren yang diproduksi oleh industri tepung aren memiliki

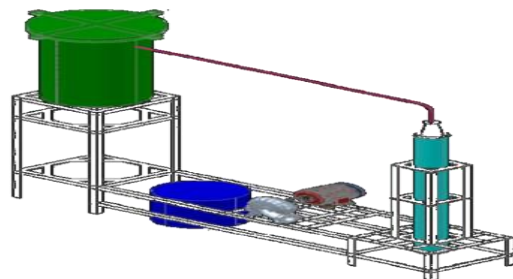
konduktivitas termal 0,211935w/m°C
(Kurniawan, 2013)

Tabel 2. Karakteristik Bahan Baku dan Limbah Padat Aren

	1	2	3	4	5
C – Organik	%BK	80.17	76.53	69.59	
NTK	%BK	2.69	0.85	0.74	
Organik Nitrogen	%BK	2.13	0.80	0.70	
Kadar Air	%BB	41.59	87.50	71.72	
Total Fosfat	Mg/kg BK	1450.19	1339.83	1464.46	
Kalium	Mg/kg BK	2280.85	4026.12	2206.96	
Amoniak	Mg/kg BK	0.56	0.05	0.04	
Magnesium	Mg/kg BK	953.35	638.97	635.85	
Besi (Fe)	Mg/kg BK	404.78	2061.41	652.23	
Seng (Zn)	Mg/kg BK	28.19	7.11	106.06	
Tembaga	Mg/kg BK	<0,001	8.47	5.82	
Fosfor	Mg/kg BK	482.91	446.16	487.67	

Keterangan:

- (1) Parameter
- (2) Satuan
- (3) Hasil Analisis Bahan Baku Parutan Batan
- (4) Hasil Analisis Bahan Baku Pati Aren (Pengendapan I)
- (5) Hasil Analisis Limbah Padat Berupa Ampas Akhir



Gambar 2. Alat Pirolisis

Bagian – bagian dari pirolisis terdiri dari beberapa komponen: reaktor yang memiliki fungsi sebagai ruang bakar biomassa, pipa penghubung memiliki fungsi untuk menghantarkan uap dari pembakaran di reaktor menuju kondensor, kondensor memiliki fungsi untuk mendinginkan uap dari reactor untuk diproses menjadi asap cair, pompa memiliki fungsi untuk mensirkulasikan air kedalam kondensor.

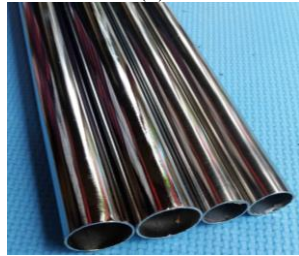
Metode

Metode penelitian ini menggunakan metode eksperimen, dengan pengukuran data kuantitas asap cair menggunakan gelas ukur serta pengambilan data efisiensi proses pirolisis dengan membaca table hasil dan grafik hasil eksperimen. Penelitian ini menggunakan enam variasi pipa penghubung yaitu galvanis dan stainless steel masing – masing $\phi 3/4$ inch x 1 meter, $\phi 3/4$ inch x 0,5 meter, $\phi 1/4$ inch x 0,5 meter.

Proses pengambilan data menggunakan alat pirolisis dengan bahan bakar gas elpiji 3kg dan 12kg. Biomassa yang sudah diukur beratnya 200gr diletakan kedalam reaktor. Pemasangan pipa penghubung dilakukan setelah menutup tabung reaktor. Memasang pompa pada kondensor untuk mensirkulasikan air kedalam tabung kondensor. Penyalaan kompor dilakukan setelah semua setup selesai dilakukan. Kompor dinyalakan hingga mendapat suhu 400°C. Pengukuran kuantitas dilakukan setelah kompor menyala. Pengambilan data dilakukan selama 60 menit.



(a)



(b)

- (a) Pipa stainless steel $\phi 3/4$ inch x 0,5 meter
 (b) Pipa stainless steel $\phi 3/4$ inch x 1 meter dan stainless steel $\phi 1/4$ inch x 0,5 meter



(c)



(d)



(e)

- (c) Pipa galvanis $\phi 3/4$ inch x 0,5 meter
 (d) Pipa galvanis $\phi 3/4$ inch x 1 meter
 (e) Pipa galvanis $\phi 1/4$ inch x 0,5 meter

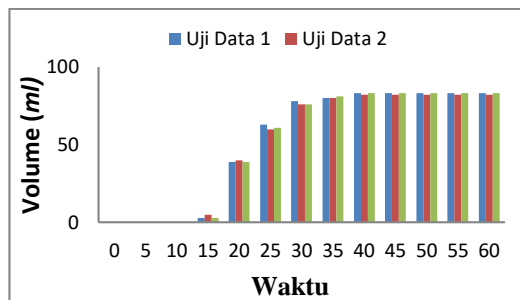
Gambar 3. Variasi Pipa Penghubung

Hasil dan Pembahasan

Perbandingan pengaruh panjang pipa terhadap kuantitas *liquid smoke*

- 1) Pipa Galvanis Diameter $3/4$ inch dengan panjang 1 meter

Pada proses pengambilan data pada variasi ini mendapatkan hasil data seperti pada gambar dibawah ini.

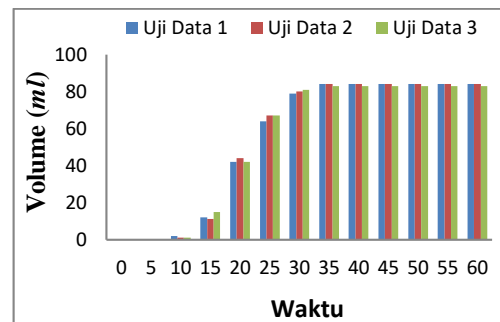


Gambar 4. Kuantitas Asap Cair Pipa Galvanis $\phi 3/4$ inch x 1 meter

Dari Gambar 4 membuktikan bahwa dari setiap pengujian tidak terdapat perbedaan yang banyak dan semua data hampir sama antara pengujian 1, 2, dan 3.

- 2) Pipa Galvanis Diameter $3/4$ inch dengan Panjang 0,5 meter

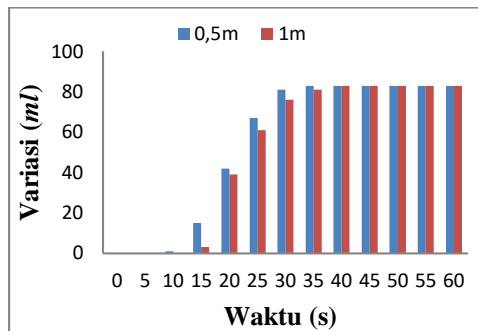
Pada proses pengambilan data pada variasi ini mendapatkan hasil data seperti pada gambar 5.



Gambar 5. Kuantitas Asap Cair Pipa Galvanis $\phi 3/4$ inch x 0,5 meter

Hasil dari pengujian pipa ini dapat dilihat pada gambar 5 hasil tidak terlalu berbeda. Pada pengujian ini volume mulai menetes setelah 10 menit. Jumlah asap cair pada gelas ukur menunjukkan 2ml. Suhu menunjukkan 400°C setelah 20 s/d 25 menit.

Setelah melakukan dua pengujian pipa galvanis diameter $3/4$ Inch dengan panjang 0,5 meter dan 1 meter. Perbandingan hasil dari kedua pipa tersebut dapat dilihat pada gambar Gambar 6

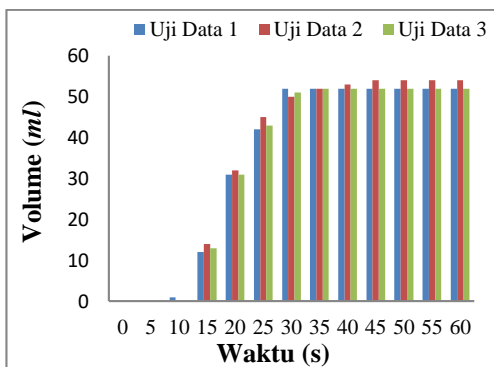


Gambar 6. Perbandingan Kuantitas Pipa Galvanis $\phi 3/4$ inch dengan Panjang 1 meter dan 0,5 meter

Dari gambar 6 dapat dianalisis bahwa, terdapat perbedaan pada percepatan produksi asap cair. Pada pipa galvanis diameter $3/4$ inch x 1 meter mulai memproduksi asap cair setelah 15 menit, sedangkan pada pipa galvanis diameter $3/4$ inch x 0,5 meter mulai memproduksi asap cair setelah 10 menit. Perbedaan lainnya terdapat pada percepatan produksi asap cair. Setelah 35 menit pipa galvanis diameter $3/4$ inch x 0,5 meter sudah tidak memproduksi asap cair, sedangkan pipa galvanis diameter $3/4$ Inch x 1 meter tidak memproduksi asap cair setelah 40 menit.

- 3) Pipa galvanis diameter $1/4$ inch panjang 0,5 meter

Pada proses pengambilan data pada variasi ini mendapatkan hasil data seperti pada gambar 7.

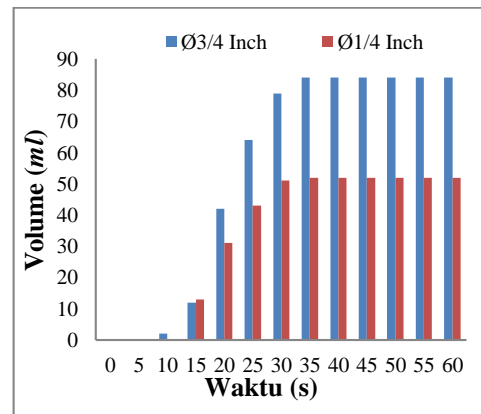


Gambar 7. Kuantitas Asap Cair Pipa Galvanis $\phi 1/4$ inch x 0,5 meter

Hasil pengujian pipa diameter $1/4$ inch panjang 0,5 meter dapat dilihat pada Gambar 4.6, hasil menunjukkan pengujian ke-1, ke-2, dan ke-3 tidak berbeda banyak berbeda.

Asap cair mulai diproduksi setelah 10 menit, pada gelas ukur menunjukkan angka 1 ml.

Perbandingan pipa galvanis diameter $1/4$ inch dan diameter $3/4$ inch dengan panjang 0,5 meter untuk mengetahui hasil dari efisiensi dan kuantitas asap cair. Perbandingan dilakukan dengan cara membuat grafik dengan masing - masing data dari pengujian pipa.



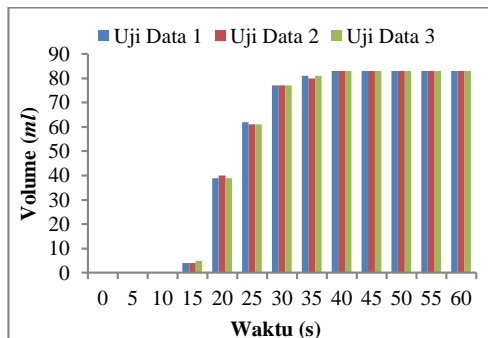
Gambar 8. Perbandingan Kuantitas Pipa Galvanis $\phi 3/4$ dan $\phi 1/4$ Panjang 0,5 meter

Dapat dilihat dari beberapa hasil perbandingan pipa galvanis diameter $3/4$ inch panjang 0,5 meter dengan diameter $1/4$ inch panjang 0,5 meter. Pada pengujian pipa galvanis diameter $1/4$ Inch panjang 0,5 meter output pada kondensor lebih berasap. Hal tersebut karena aliran uap yang cukup tinggi menyebabkan kondensasi kurang sempurna.

Pada sisa biomassa terlihat kristal - kristal pada permukaan abu (sisa biomassa). Kristal - kristal tersebut terbentuk karena uap hasil dari pembakaran yang tidak teralirkan dengan sempurna melalui pipa penghubung sehingga terjebak ditutup reaktor dan menetes diatas permukaan biomassa.

- 4) Pipa *Stainless Steel* diameter $3/4$ inch dengan panjang 1 meter

Pada proses pengambilan data pada variasi mendapatkan hasil data seperti pada gambar 9.

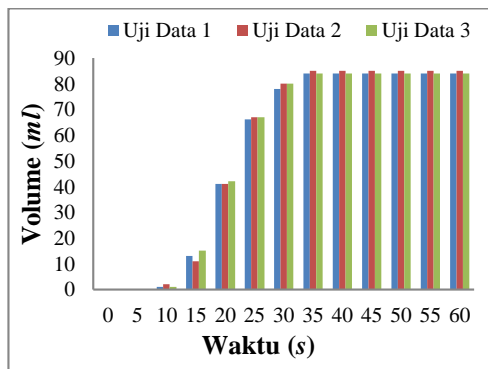


Gambar 9. Kuantitas Asap Cair Pipa *Stainless Steel* $\phi 3/4$ inch x 1 meter

Dari Gambar 9 terlihat bahwa setiap pengujian pipa variasi *stainless steel* diameter $3/4$ inch dengan panjang 1 meter tidak memiliki banyak perbedaan. Sisa dari proses pirolisis berupa abu dengan berat 20 gram. Setiap pengujian memiliki berat sisa berupa abu yang sama.

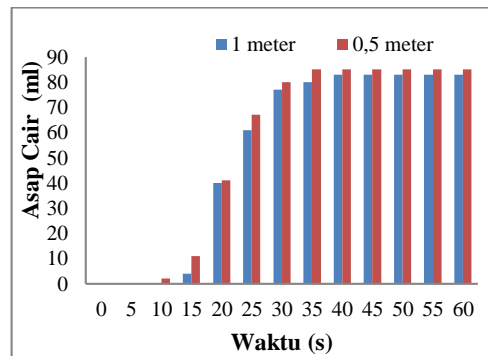
- 5) Pipa *Stainless Steel* Diameter $3/4$ inch dengan panjang 0,5 meter

Pada proses pengambilan data pada variasi mendapatkan hasil data seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 10. Kuantitas Asap Cair Pipa *Stainless Steel* $\phi 3/4$ inch x 0,5 meter

Dari Gambar 10 terlihat bahwa setiap pengujian pipa variasi *stainless steel* diameter $3/4$ dengan panjang 0,5 meter tidak memiliki banyak perbedaan. Sisa dari proses pirolisis berupa abu dengan berat 20 gram. Setiap pengujian memiliki berat sisa berupa abu yang sama. Setelah melakukan dua pengujian pipa *stainless steel* diameter $3/4$ inch dengan panjang 0,5 meter dan 1 meter. Perbandingan hasil dari kedua pipa tersebut dapat dilihat pada gambar 11.

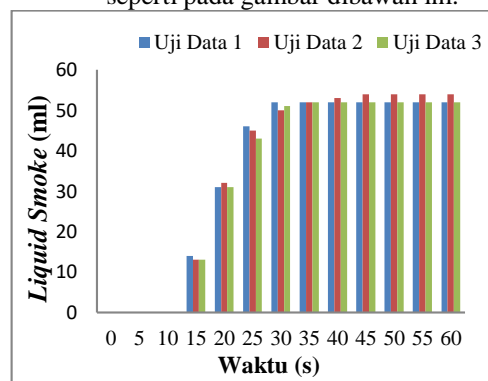


Gambar 11. Perbandingan Kuantitas Pipa *Stainless Steel* $\phi 3/4$ inch Panjang 1 meter dan 0,5 meter

Dari gambar 11 dapat dianalisis bahwa, terdapat perbedaan pada percepatan produksi asap cair. Pada pipa *stainless steel* diameter $3/4$ inch panjang 1 meter mulai memproduksi asap cair setelah 15 menit, sedangkan pada pipa *stainless steel* diameter $3/4$ inch panjang 0,5 meter mulai memproduksi asap cair setelah 10 menit. Perbedaan lainnya terdapat pada percepatan produksi asap cair. Setelah 35 menit pipa *stainless steel* diameter $3/4$ inch panjang 0,5 meter sudah tidak memproduksi asap cair, sedangkan pipa *stainless steel* diameter $3/4$ inch panjang 1 meter tidak memproduksi asap cair setelah 40 menit.

- 6) Pipa *Stainless Steel* diameter $1/4$ inch panjang 0,5 meter

Pada proses pengambilan data pada variasi mendapatkan hasil data seperti pada gambar dibawah ini.

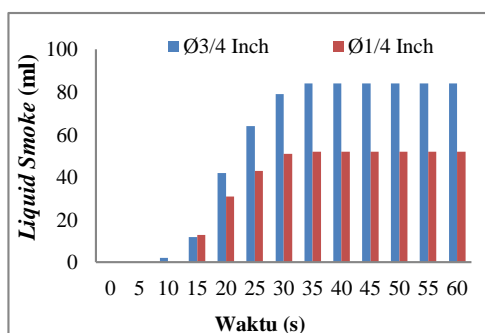


Gambar 12. Kuantitas Asap Cair Pipa *Stainless Steel* $\phi 1/4$ inch x 0,5 meter

Hasil pengujian pipa diameter $1/4$ inch panjang 0,5 meter dapat dilihat pada Gambar 12, hasil menunjukkan pengujian ke-1, ke-2,

dan ke-3 tidak berbeda banyak berbeda. Asap cair mulai diproduksi setelah 10 *menit*, pada gelas ukur menunjukkan angka 1 *ml*.

Perbandingan pipa *stainless steel* diameter 1/4 *inch* dan diameter 3/4 *inch* dengan panjang 0,5 *meter* untuk mengetahui hasil dari efisiensi dan kuantitas asap cair. Perbandingan dilakukan dengan cara membuat Gambar 13 dengan masing - masing data dari pengujian pipa.



Gambar 13. Perbandingan Asap Cair Pipa *Stainless Steel* $\phi 1/4$ *inch* dan $\phi 3/4$ *inch* Dengan Panjang 0,5 *meter*

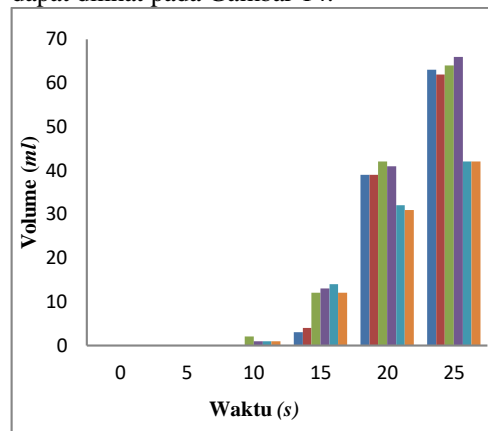
Dapat dilihat Gambar 13 dari beberapa hasil perbandingan pipa *stainless steel* diameter 3/4 *inch* panjang 0,5 *meter* dengan diameter 1/4 *inch* panjang 0,5 *meter*. Pada pengujian pipa *stainless steel* diameter 1/4 *inch* panjang 0,5 *meter* *output* pada kondensor lebih berasap. Hal tersebut karena aliran uap yang cukup tinggi menyebabkan kondensasi kurang sempurna.

Pada sisa biomassa terlihat kristal – kristal pada permukaan abu (sisa biomassa). Kristal – kristal tersebut terbentuk karena uap hasil dari pembakaran yang tidak teralirkan dengan sempurna melalui pipa penghubung sehingga terjebak ditutup reaktor dan menetes diatas permukaan biomassa.

Efisiensi Pipa Variasi

Efisiensi dilihat dari kecepatan produksi asap cair setiap varian pipa. Efisiensi pada setiap varian pipa diambil pada *menit* ke-0 s/d *menit* ke-25. Pada *menit* itu produksi setiap varian pipa berbeda – beda.

Hasil perbandingan efisiensi variasi pipa dapat dilihat pada Gambar 14.

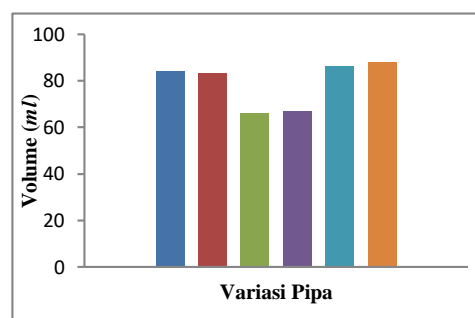


Gambar 14. Efisiensi Variasi Pipa

Pada gambar diatas menunjukkan efisiensi dari setiap variasi pipa. Pengambilan data efisiensi berdasarkan jumlah asap cair berbanding dengan waktu pembakaran. Dari gambar diatas pipa galvanis dan *stainless steel* diameter 3/4 *inch* panjang 0,5 *meter* memiliki nilai efisiensi terbaik. Nilai efisiensi terbaik dinilai dari garis grafik yang mendekati sumbu Y (volume asap cair (*ml*)) dan menjauhi sumbu X (waktu (*s*)).

Kuantitas Asap Cair

Jumlah asap cair setiap variasi memiliki nilai yang berbeda – beda. Kuantitas asap cair dapat dilihat pada *menit* 60. Kuantitas setiap variasi berbeda – beda.



Gambar 15. Perbandingan Kuantitas Variasi Pipa

Dari gambar gambar diatas didapatkan data kuantitas dari setiap variasi pipa. Pada Gambar 15 didapat urutan data dari kuantitas terbanyak pipa *stainless steel* diameter 3/4 *inch* panjang 0,5*meter*, galvanis diameter 3/4 *inch* panjang 0,5 *meter*, galvanis diameter 3/4 *inch* panjang 1 *meter*, pipa *stainless steel* diameter 1/4 *inch* panjang 0,5

meter, galvanis diameter 1/4 inch panjang 0,5 meter, *stainless steel* diameter 3/4 inch panjang 1 meter dengan nilai kuantitas 88 ml, 86 ml, 84 ml, 67 ml, 66 ml, 83 ml.

Penutup

a. Kesimpulan

1. Hasil eksperimen pada jenis material pipa menunjukan, pipa *stainless steel* lebih baik daripada galvanis. Nilai volume pada jenis material pipa *stainless steel* 88ml sedangkan jenis material galvanis 86 ml.
2. Hasil eksperimen pada panjang pipa menunjukan, pipa dengan panjang 0,5 meter lebih baik daripada 1 meter. Nilai volume pada pipa dengan panjang 0,5 meter 88ml sedangkan panjang 1 meter 84 ml.
3. Semakin kecil diameter pipa tidak menjamin kuantitas asap cair jika tidak diimbangi dengan kondensor yang sesuai. Hasil eksperimen pada diameter pipa menunjukan, pipa dengan diameter 3/4 inch lebih baik dari pada diameter 1/4 inch. Nilai volume pada diameter 3/4 inch 88ml sedangkan diameter 1/4 inch 67ml.

b. Saran

1. Perlu pengembangan proses pembakaran pada reaktor untuk mencapai suhu pembakaran yang ideal dan stabil.
2. Perlu pengembangan proses pembakaran untuk mendapatkan suhu ideal dalam

meningkatkan efisiensi dan kuantitas asap cair.

3. Perlu pengembangan kondensor dalam proses pirolisis untuk meningkatkan efisiensi pendinginan agar meningkatnya kuantitas asap cair

Daftar Pustaka

- Ali, M. & Kurniawan, R. (2013). Kaji Eksperimental Konduktivitas Termal Isolator dari Serbuk Batang Kelapa Sawit. *Jurnal Desiminasi Teknologi*, 59-68.
- Cahyono, S. M. (2013). Pengaruh Jenis Bahan pada Proses Pirolisis Sampah Organik. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, 67-76.
- Hugo, T. J. (2010). Pyrolysis of Sugarcane. *Master of Science in Engineering*, 4-5.
- Mayrina, F. & Marisa, H. (2005). Karakteristik Dasar Limbah Industri Tepung Aren. *Infrastruktur dan Lingkungan Binaan*, 1-8.
- Tan, Y. L., Abdullah, A. Z., & Hameed, B. H. (2017). Fast pyrolysis of durian (*Durio zibethinus* L) shell in a drop-type fixed bed. *Bioresource Technology*, 1-8.
